

質量降着を伴う中性子星における 中性子過剰核の核融合反応

萩野浩一（東北大学）
連携研究者：飯田圭（高知大学）



TOHOKU
UNIVERSITY

研究の目的

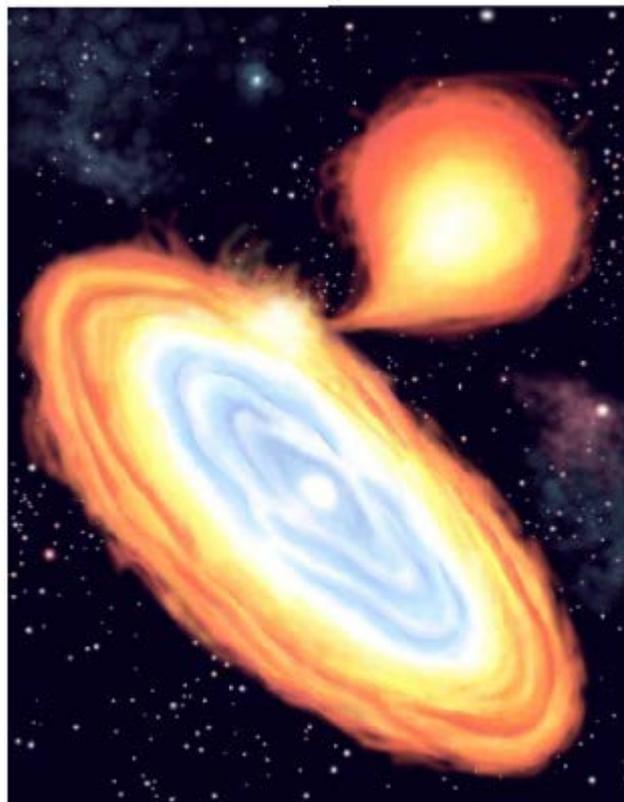
- 中性子星内部で起こる種々の核融合反応の解明
特に、クラスト深部で起こる**中性子過剰核のピクノ核融合反応**



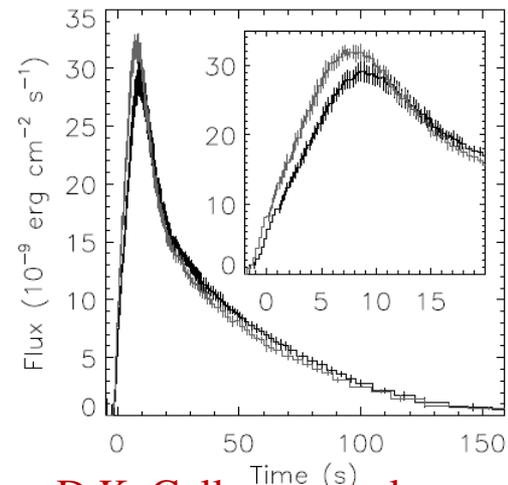
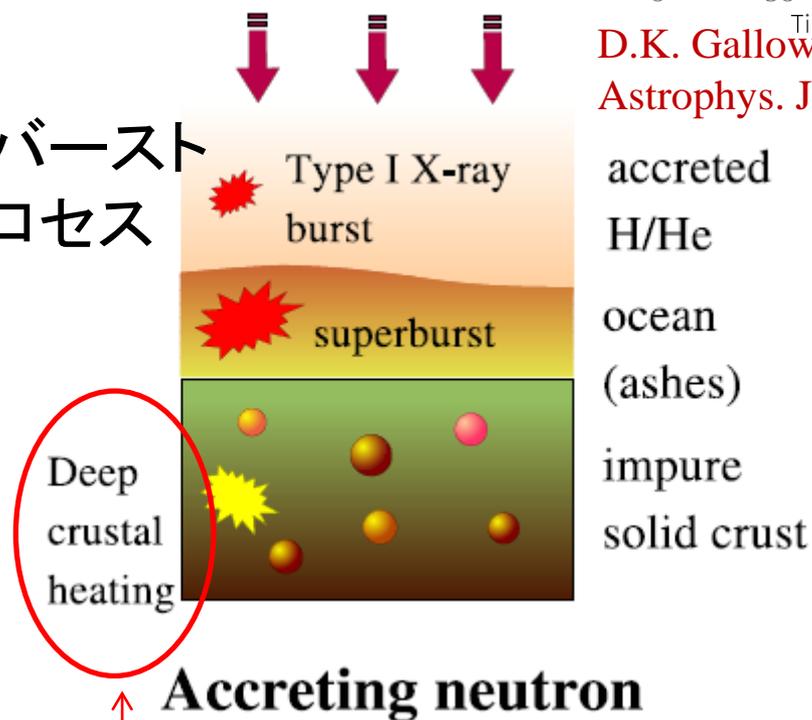
X線光度観測から中性子星内部の情報を引き出す際の
精度のよいインプットを与える

関連分野：D01（理論）、C01（X線）、B02（中性子過剰核）

質量降着を伴う中性子星で起こる原子核反応



X線バースト
rpプロセス



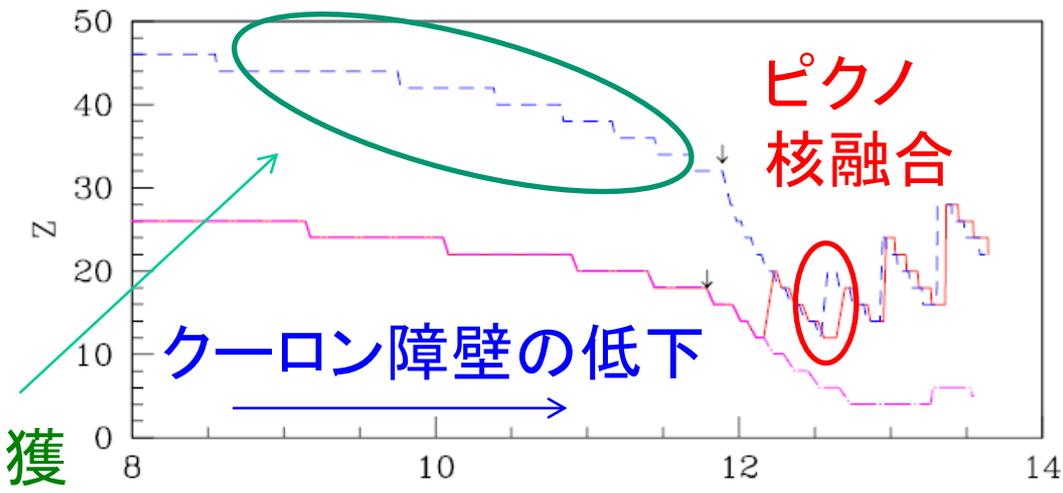
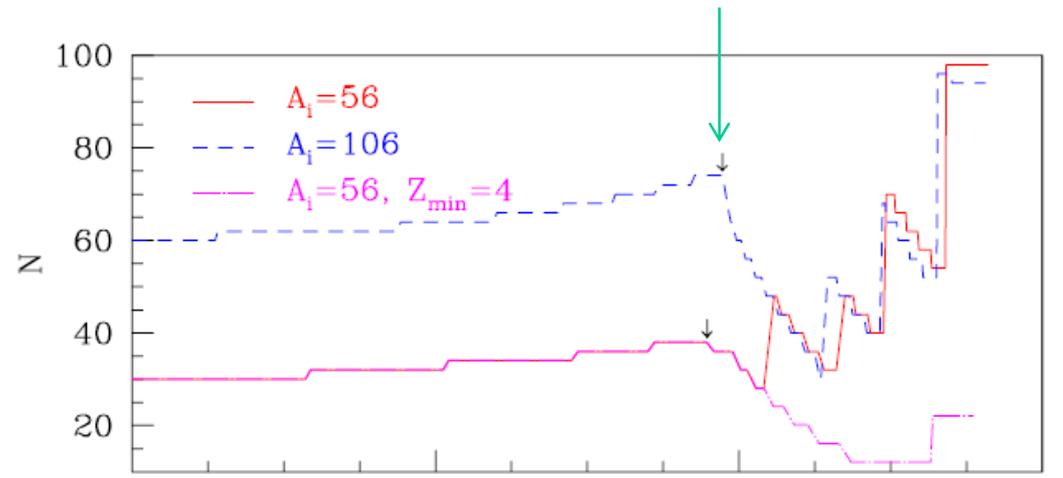
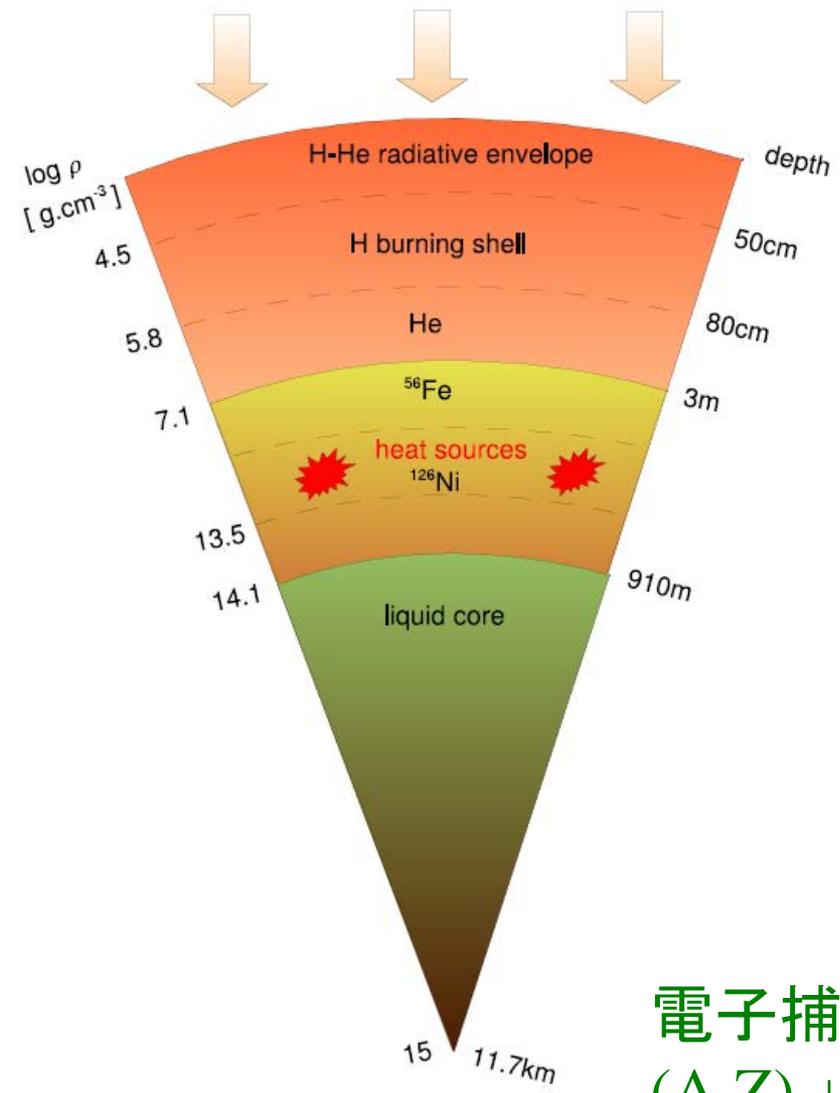
D.K. Galloway et al.,
Astrophys. J. 601('04)466

accreted
H/He
ocean
(ashes)
impure
solid crust

中性子過剰核の核融合反応

N. Chamel and P. Haensel,
Living Rev. Relativity, 11 ('08) 10.

中性子のこぼれ落ち

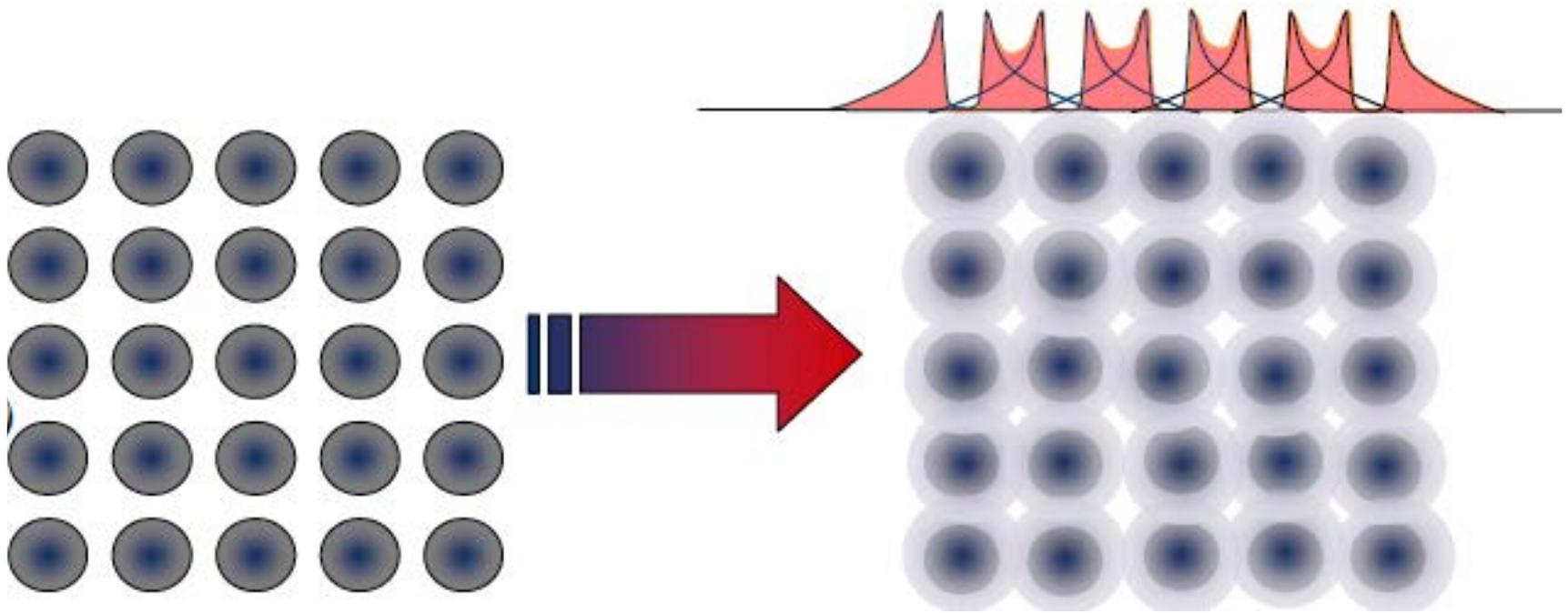


電子捕獲
 $(A,Z) + e^- \rightarrow (A,Z-1) + \nu_e$

N. Chamel and P. Haensel, Living Rev. Relativity, 11 ('08) 10.

cf. 早い段階での研究: K. Sato, PTP62('79) 957

ピクノ核融合



Michael Wiescher (Notre Dame)

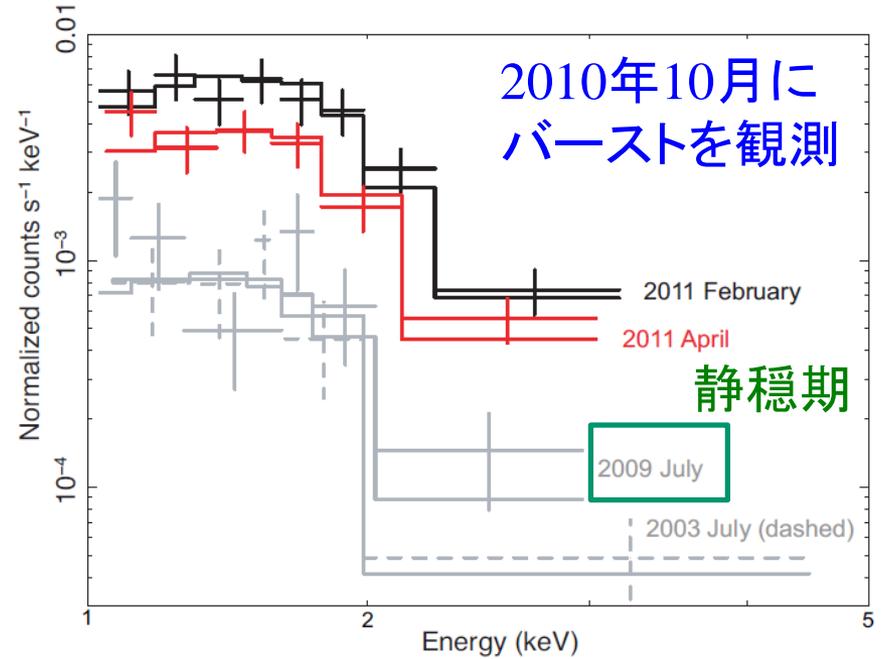
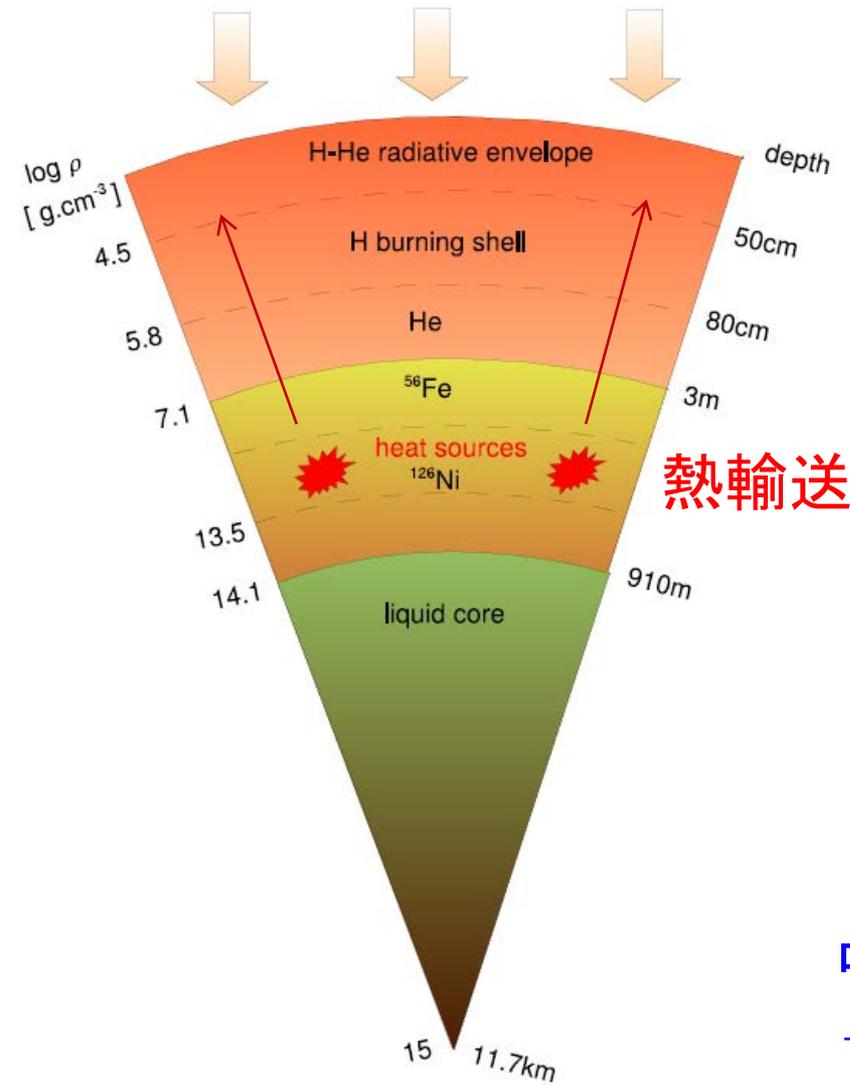
- 高密度環境下
- 格子振動(ゼロ点振動)による核融合反応

- ✓ E.E. Salpeter and H.M. Van Horn, *Astro. Phys. J.* 155 ('69) 183
- ✓ S. Schramm and S.E. Koonin, *Astro. Phys. J.* 365 ('90) 296

クラスト深部の核融合反応



X線連星の静穏期におけるX線の起源



N. Degenaar, E.F. Brown, R. Wijnands,
Mon. No. R. Astron. Soc. 418 ('11) L152

中性子星内部の情報を反映

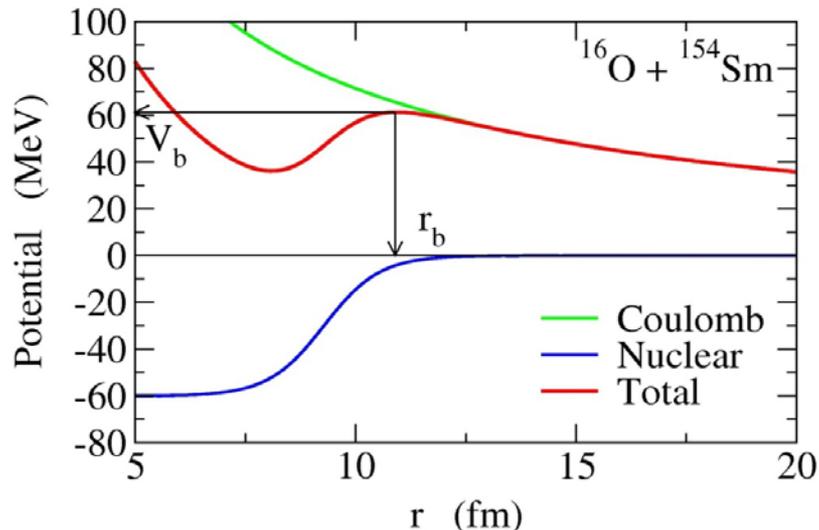
→ X線観測からEOSが決定できる?



核反応率の精度よい見積もりが必要

これまでの核融合反応率の見積もり

ほとんどのものが単純な1次元ポテンシャル模型



$$\sigma_{\text{fus}}(E) = \frac{\pi}{k^2} \sum_l (2l + 1) P_l(E)$$

二重たたみこみポテンシャル

$$V_{DF}(\mathbf{r}) = \int d\mathbf{r}_1 d\mathbf{r}_2 \rho_1(\mathbf{r}_1) \rho_2(\mathbf{r}_2) \times v_{nn}(\mathbf{r} + \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1)$$

例えば、

C.J. Horowitz et al., PRC77('08)045807

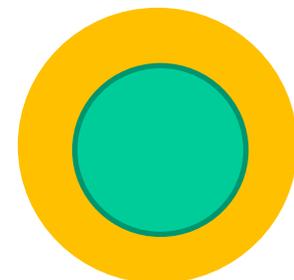
$^{24}\text{O} + ^{24}\text{O}$, $^{28}\text{Ne} + ^{28}\text{Ne}$

A.W. Steiner, PRC85('12)055804

$^{22}\text{C} + ^{22}\text{C}$ など (含: 非対称系)

サンパウロ・ポテンシャル (二重たたみこみポテンシャル)

← 中性子過剰核の密度の広がりの効果は入るが
動的効果が全く入らない

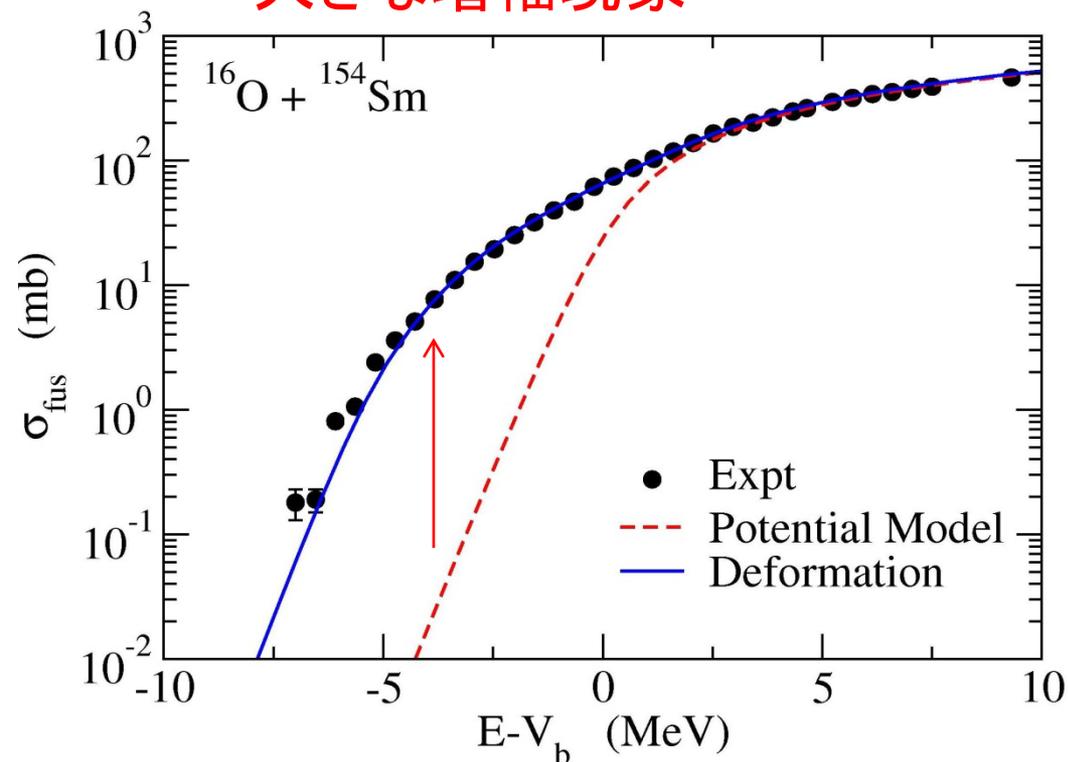


cf. A.S. Umar et al., PRC85('12)055801 は density-constrained HF

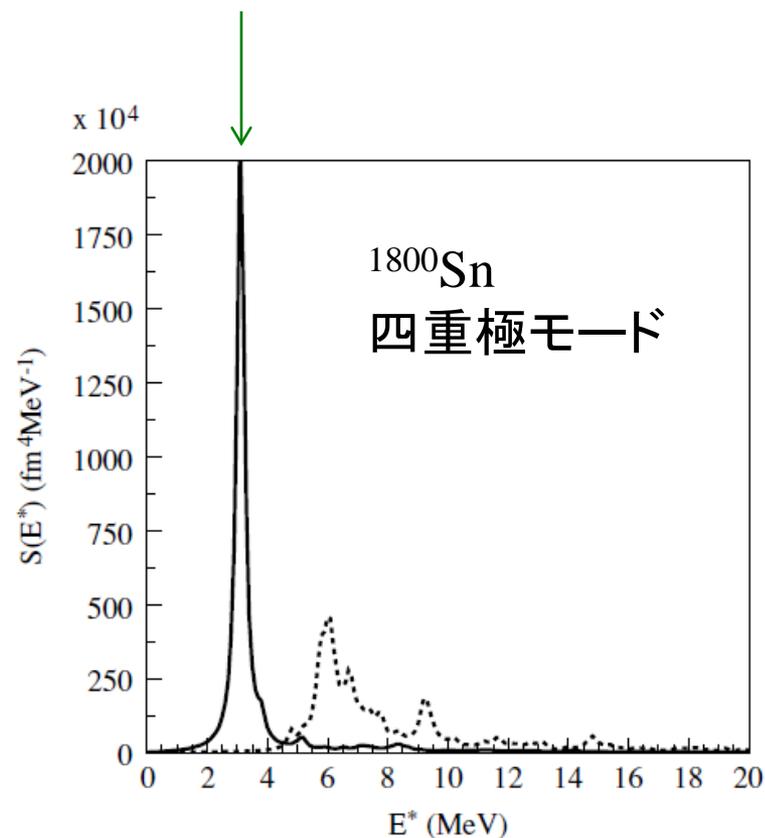
考えられる動的効果

- 原子核の集団励起の効果
- 分解過程
- 多核子移行反応

標的核の回転励起による
大きな増幅現象



低エネルギー領域で
非常に大きい集団性
（「巨大共鳴」に匹敵）

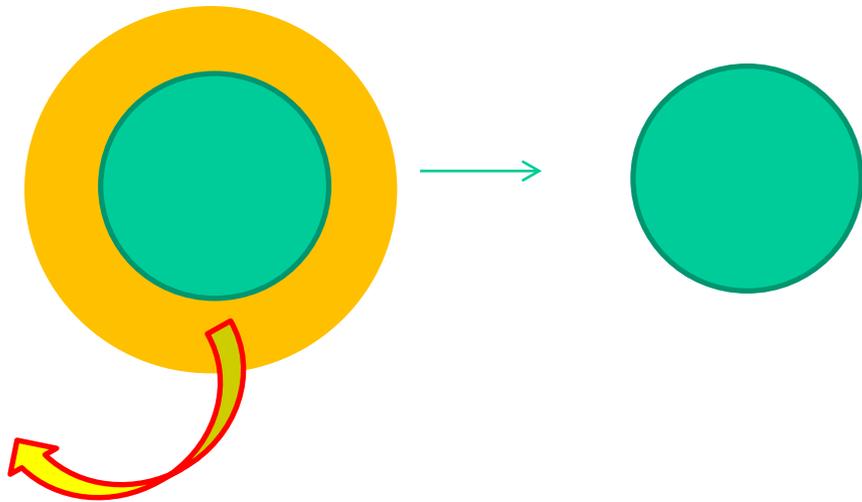


E. Khan et al.,
PRC71('05)042801(R)

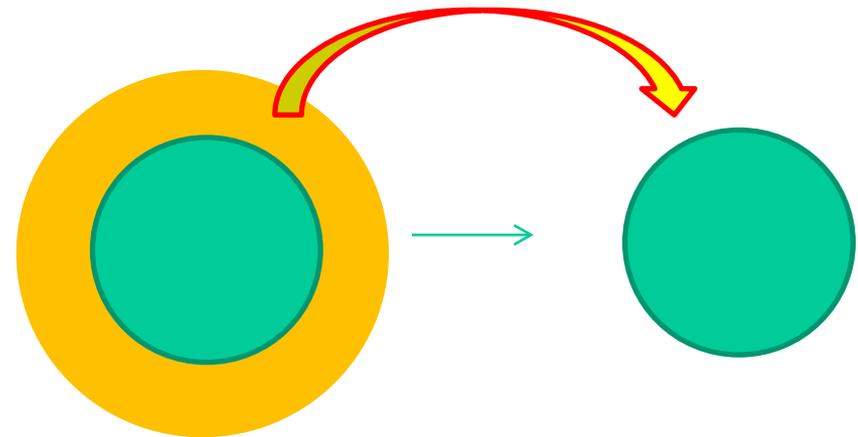
考えられる動的効果

- 原子核の集団励起の効果
- 中性子過剰核の余剰中性子(中性子スキン)の効果

✓ 分解効果



✓ 多核子移行反応

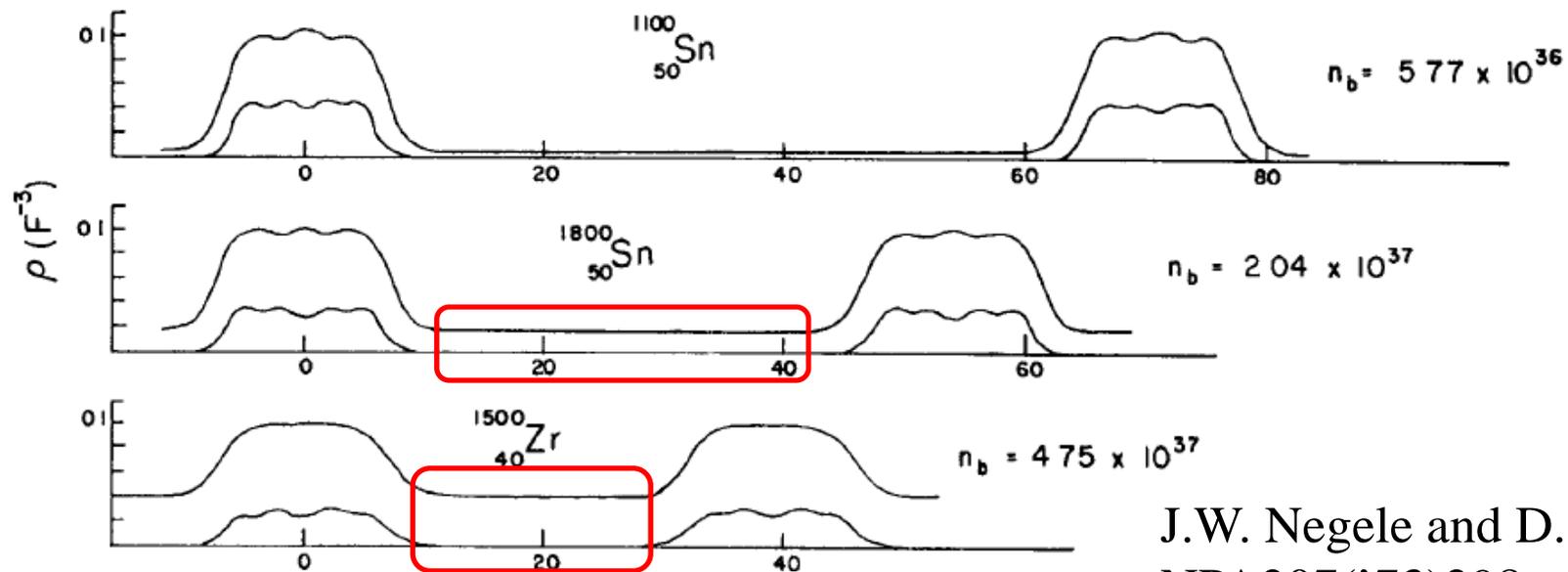
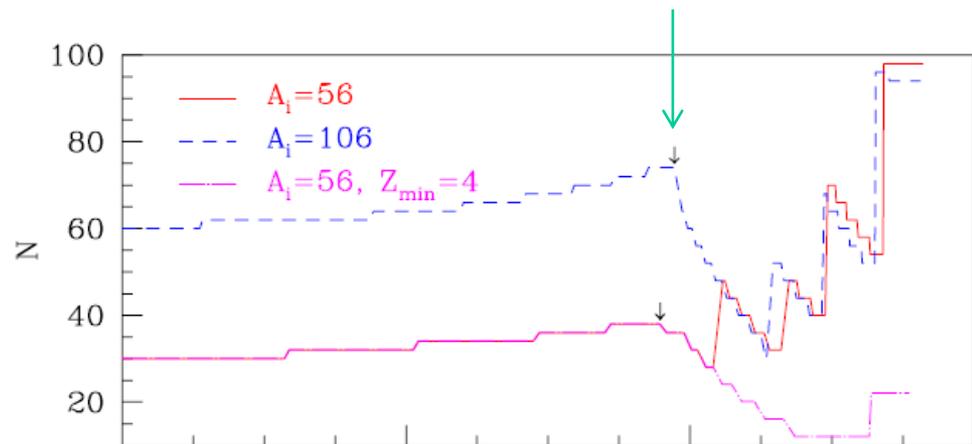


スキン部分にある
多核子の移行

* ただし、両者の効果とも、実験室での実験においてさえも
まだ完全に理解されていない

中性子の海の効果

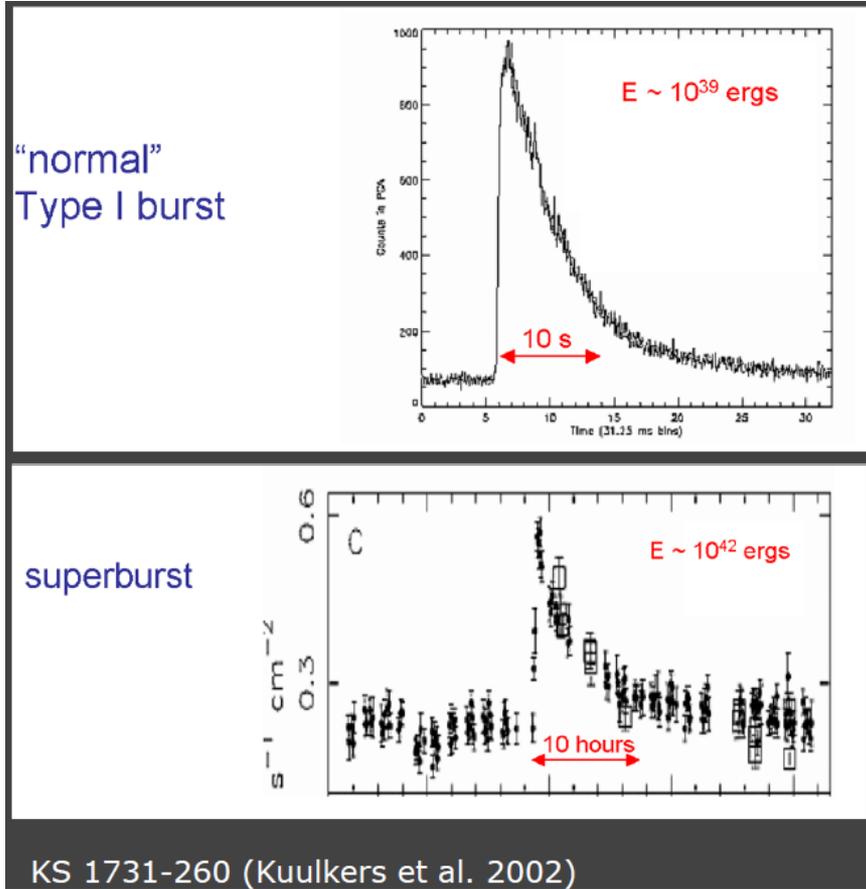
- 分解過程の抑制
- 核間ポテンシャルへの影響?



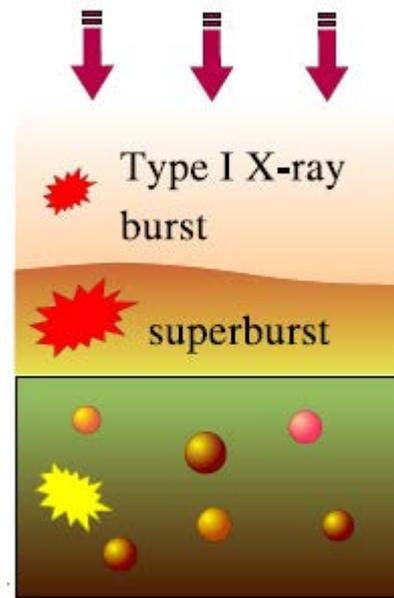
J.W. Negele and D. Vautherin,
NPA207('73)298

$$V(\mathbf{r}) \sim \int d\mathbf{r}_1 d\mathbf{r}_2 \rho_1(\mathbf{r}_1) \rho_2(\mathbf{r}_2) v_{nn}(\mathbf{r} + \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1)$$

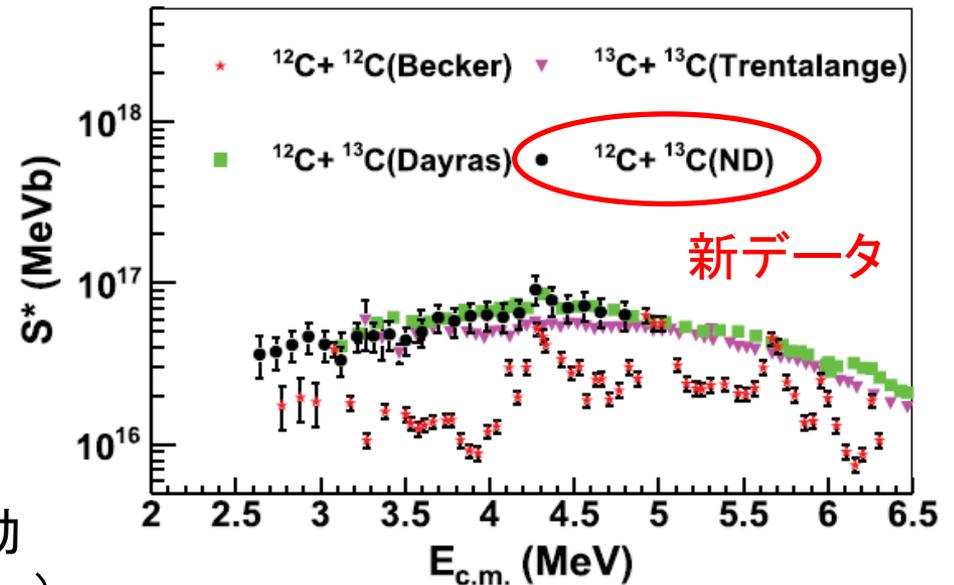
X線スーパー・バースト



slide: J. Zand



アウタークラスト深部
 $^{12}C+^{12}C$



M. Notani et al., PRC85('12)014607

cf. C+C 系における核融合断面積の振動
(クーロン障壁より高い入射エネルギー)
→ N. Rowley and K.H., in preparation

まとめ:

質量降着を伴う中性子星における中性子過剰核の核融合反応

研究の目的

中性子星内部で起こる種々の核融合反応の解明

特に、クラスト深部で起こる**中性子過剰核のピクノ核融合反応**

➤ 動的効果

- ✓ 散乱核の集団励起
- ✓ 分解過程
- ✓ 多核子移行過程

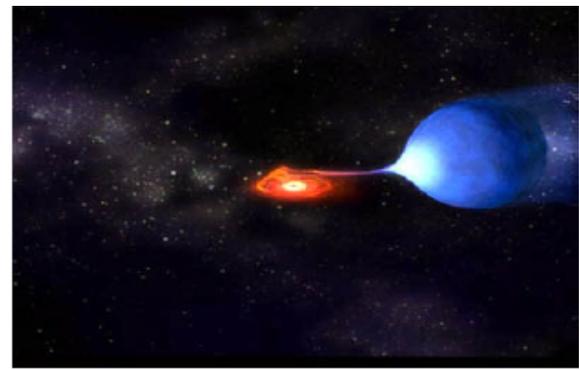
➤ 中性子の海の効果



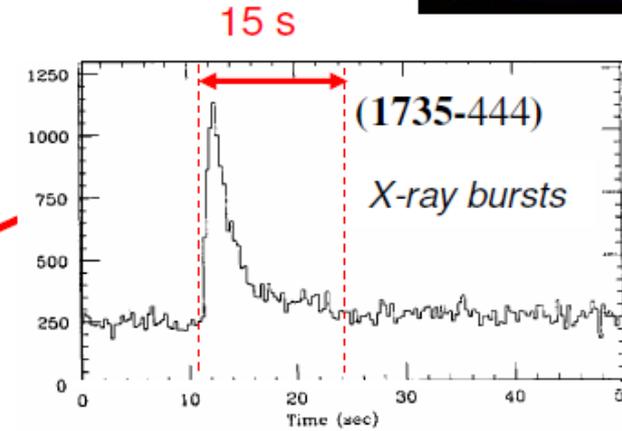
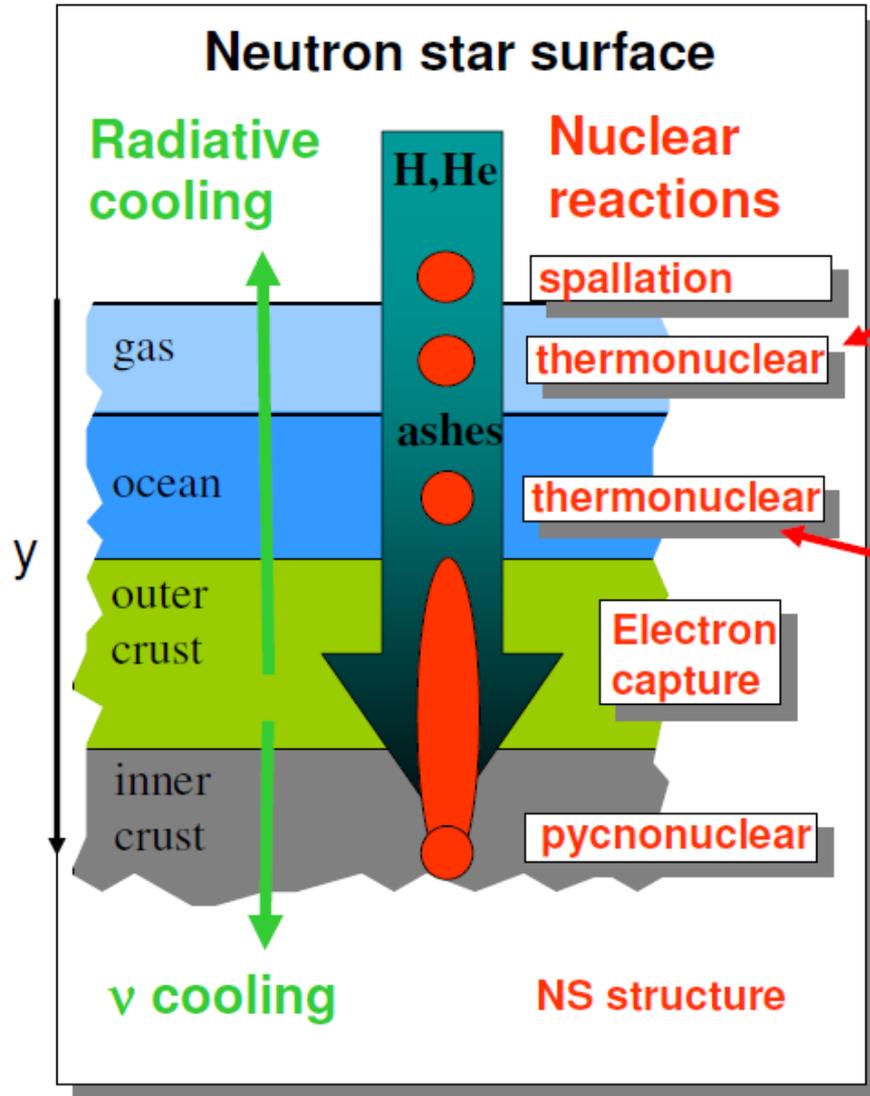
X線光度観測から中性子星内部の情報を引き出す際の
精度のよいインプットを与える

関連課題: $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ 核融合反応 (← X線スーパーバースト)

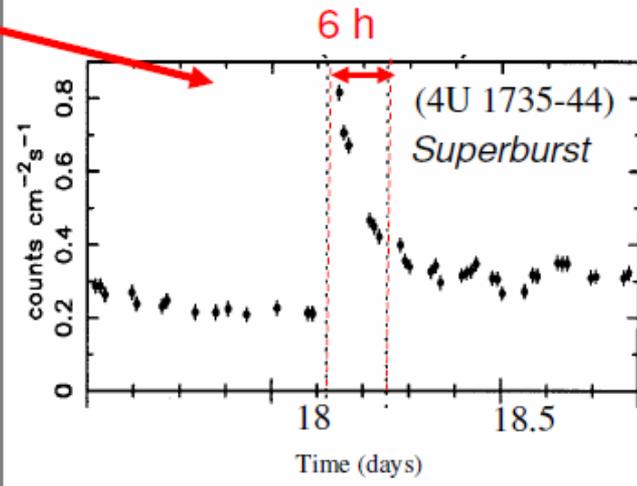
Superburst Ignition



Neutron star surface



~ 2m,
 $\rho=10^6 \text{ g/cm}^3$



~ 20m,
 $\rho=10^9 \text{ g/cm}^3$